

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 :

H03M 13/00

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/59423

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

30. Dezember 1998 (30.12.98)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE98/01524

(22) Internationales Anmeldedatum:

4. Juni 1998 (04.06.98)

(30) Prioritätsdaten:

197 26 600.2

23. Juni 1997 (23.06.97)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,  
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): XU, Wen [CN/DE];  
Pollnstrasse 1a, D-85221 Dachau (DE).

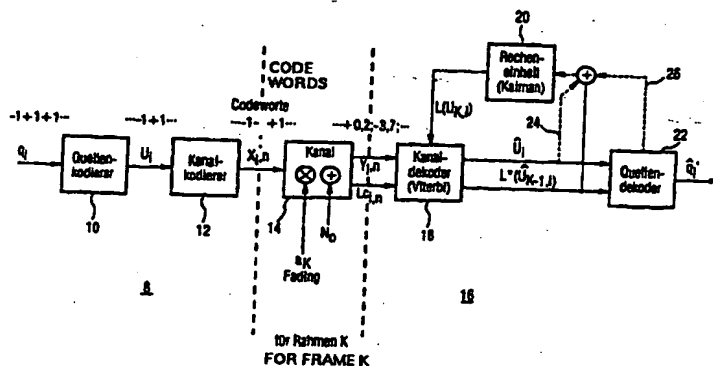
(81) Bestimmungsstaaten: AU, CN, JP, US, europäisches Patent  
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SOURCE-CONTROLLED CHANNEL DECODING USING A KALMAN FILTER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR QUELLENGESTEUERTEN KANALDECODIERUNG MIT HILFE  
EINES KALMAN-FILTERS



10...SOURCE CODER  
12...CHANNEL CODER  
14...CHANNEL  
16...CHANNEL DECODER (VITERBI)  
18...CHANNEL DECODER (VITERBI)  
20...ARITHMETIC UNIT (KALMAN)  
22...SOURCE DECODER

(57) Abstract

The invention relates to a method for processing data received by a receiver (16). The received data is processed by means of a maximum a posteriori probability algorithm using metric increments. In order to compute the metric increments, reliability values ( $L(u_{k,1})$ ) are used which are determined using a Kalman filter to estimate the correlation of sequential frames in an estimation unit (20).

### (57) Zusammenfassung

Erläutert wird ein Verfahren zum Bearbeiten von durch einen Empfänger (16) empfangenen Daten. Die empfangenen Daten werden mit Hilfe eines Metrikinkremente verwendenden Maximum-A-posteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus bearbeitet. Zum Berechnen der Metrikinkremente werden Zuverlässigkeitswerte ( $L(u_{k,i})$ ) verwendet, die unter Verwendung eines Kalman-Filters zur Schätzung der Korrelation aufeinanderfolgender Rahmen in einer Schätzeinheit (20) ermittelt wurden.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Letland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Verfahren und Einrichtung zur quellengesteuerten Kanaldecodierung mit Hilfe eines Kalman-Filters

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten von mit einem Empfänger empfangenen Daten, bei dem in aufeinanderfolgenden Rahmen über eine Übertragungsstrecke übertragene Daten empfangen werden. Ein Rahmen enthält eine vorgegebene Anzahl von Bitstellen. Die empfangenen Daten werden mit Hilfe eines Metrikinkremente verwendenden Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder Maximum-Likelihood-Algorithmus bearbeitet, wobei der Viterbi-Algorithmus verwendet wird. Die Metrikinkremente für mindestens eine Bitstelle, deren Wert und/oder deren sogenannter Zuverlässigkeitswert von Rahmen zu Rahmen korreliert, werden dabei abhängig von einem für diese Bitstelle ermittelten aktuellen Zuverlässigkeitswert berechnet. Der Zuverlässigkeitswert ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, daß der Wert der Bitstelle (1) einen vorgegebenen Wert hat.

Ein derartiges Verfahren ist für einen Viterbi-Algorithmus z.B. aus dem Aufsatz "Source-Controlled Channel Decoding" von Joachim Hagenauer in "IEEE Transactions on Communications", Band 43, Nr. 9, September 1995, Seite 2449 bis Seite 2457, bekannt. Wesentliche Teile dieses Aufsatzes sind auch in der Patentschrift DE 42 24 214 C2 enthalten. Insbesondere die Formel (21) des Aufsatzes gibt die Berechnung neuer Metriken  $M_k^{(m)}$  aus alten Metriken  $M_{k-1}^{(m)}$  und einem zugehörigen Metrikinkrement an. Dabei bezeichnet  $m$  einen bestimmten Pfad und  $k$  eine bestimmte Bitstelle in einem Rahmen. Beim Berechnen der Metrik  $M_k^{(m)}$  wird ein Zuverlässigkeitswert  $L(u_k)$  verwendet. Auf den Seiten 2454 und 2455 des genannten Aufsatzes wird zur Bestimmung des Zuverlässigkeitswertes  $L(u_k)$  der sogenannte HUK-Algorithmus vorgeschlagen, der auf einem empirischen Modell beruht, bei dem die Zuverlässigkeitswerte  $L(u_k)$  ähnlich den sogenannten Punkten bei einer deutschen

Haftpflichtversicherung für Autos berechnet werden. Aufgrund des empirischen Charakters sind die Schätzungen für die Zuverlässigkeitswerte  $L(u_k)$  ungenau. Die Metrikinkremente werden entweder zu bereits berechneten Metriken addiert oder  
5 multipliziert.

Der Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus und der Maximum-Likelihood-Algorithmus sind Algorithmen, die eine über die Übertragungsstrecke übertragene Datenfolge mit  
10 Referenzfolgen  $s$  vergleichen, und die Referenzfolge  $s$  bestimmen, die mit der größten Wahrscheinlichkeit zu der gesendeten Datenfolge gehört. Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeit bedeutet, daß die Referenzfolge  $s$  gewählt wird, für die die Wahrscheinlichkeit  $P(s|y)$  maximal wird, wobei  $y$  die empfan-  
15 gene Datenfolge ist. Maximum-Likelihood bedeutet, daß die Referenzfolge  $s$  gewählt wird, für die die Wahrscheinlichkeit  $P(y|s)$  maximal wird. Die Übertragungsstrecke ist z.B. ein Funkkanal, eine Übertragungsleitung oder auch ein Speichermedium, von dem Daten gelesen werden.

20 Es ist Aufgabe der Erfindung, zum Ermitteln der Zuverlässigkeitswerte ein einfaches Verfahren anzugeben, das die aktuellen Zuverlässigkeitswerte möglichst fehlerfrei und genau berechnet.

25 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den auf diesen Anspruch rückbezogenen Unteransprüchen angegeben.

30 Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß die aktuellen Zuverlässigkeitswerte mit einem Optimierungsverfahren sehr genau bestimmt werden könnten. Die Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß für die Optimierung zu verwendende Zuver-  
35 lässigkeitswerte, auf einer mit Fehlern behafteten Beobachtung beruhen. Die Fehler sind auf Störungen bei der Übertragung der Daten über die Übertragungsstrecke und auf fehler-

behaftete Ergebnisse des Viterbi-Algorithmus zurückzuführen. Deshalb wird beim Verfahren nach der Erfindung als Zielfunktion die Summe der Abweichungen eines im wesentlichen fehlerfreien Zuverlässigkeitswertes für einen Rahmen und des für denselben Rahmen ermittelten Zuverlässigkeitswertes definiert. Die Abweichung bezieht sich dabei auf den Betrag der Differenz zwischen dem tatsächlichen, fehlerfreien Zuverlässigkeitswert und dem ermittelten Zuverlässigkeitswert. Die Zielfunktion wird durch das Optimierungsverfahren minimiert, so daß die für die Durchführung des Viterbi-Algorithmus ermittelten Zuverlässigkeitswerte sehr nahe an die fehlerfreien Zuverlässigkeitswerten kommen.

Die Minimierung der Zielfunktion kann beim Verfahren nach der Erfindung trotz unbekannter fehlerfreier Zuverlässigkeitswerte deshalb durchgeführt werden, weil beim Optimierungsverfahren ein mathematisches Modell verwendet wird, das einen Zusammenhang zwischen den auf den Beobachtungen beruhenden Zuverlässigkeitswerten und den fehlerfreien Zuverlässigkeitswerten herstellt. Außerdem werden in dem Modell sogenannte a priori Informationen verwendet, d. h. Informationen, die schon vor der Übertragung der Daten über die Übertragungstrecke bekannt sind, wie z.B. Informationen über die Korrelation der Daten oder die Korrelation der Zuverlässigkeitswerte in aufeinanderfolgenden Rahmen. In diesem Sinne beeinflußt die Datenquelle die weitere Bearbeitung der Daten. Ist die Bearbeitung z.B. eine Decodierung, so spricht man auch von quellengesteuerter Kanaldecodierung.

Der auf der Beobachtung beruhende Zuverlässigkeitswert liegt bei einem Viterbi-Algorithmus ohne Iteration in der Regel erst mit einer Verzögerung von einem Rahmen vor. Demzufolge muß zur Ermittlung des aktuellen Zuverlässigkeitswertes auf einen beobachteten Zuverlässigkeitswert zurückgegriffen werden, der aus einem bereits bearbeiteten Rahmen für die Bitstelle bestimmt wurde. Wird dagegen ein Viterbi-Algorithmus mit Iteration durchgeführt, so ist bereits im zweiten

Iterationsschritt ein auf einer Beobachtung beruhender Zuverlässigkeitswert für den momentan bearbeiteten Rahmen vorhanden. In diesem Fall wird dieser beobachtete Zuverlässigkeitswert zur Ermittlung des aktuellen Zuverlässigkeitswertes verwendet.

Das Verfahren nach der Erfindung liefert gegenüber dem bekannten HUK-Algorithmus bessere Ergebnisse, da mit ihm stark schwankende Quellensignale bearbeitet werden können, bei denen der HUK-Algorithmus nicht in der Lage ist, die Zuverlässigkeitswerte hinreichend genau zu schätzen. Beim Verfahren nach der Erfindung liegen die beim Durchführen des Viterbi-Algorithmus verwendeten Zuverlässigkeitswerte nahe an den tatsächlichen Zuverlässigkeitswerten, so daß die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers bei der Pfadauswahl reduziert wird, da die verwendeten Zuverlässigkeitswerte die Pfadauswahl beeinflussen. Eine richtige Pfadauswahl führt z.B. bei einer Decodierung zu einer korrekt decodierten Bitfolge.

In einer Weiterbildung der Erfindung werden die Zuverlässigkeitswerte nach folgender Formel berechnet:

$$L(u_1) = \log \frac{P(u_1 = +1)}{P(u_1 = -1)}$$

Dabei ist  $u_1$  der Wert der Bitstelle, der vorzugsweise "+1" oder "-1" betragen kann.  $P(u_1 = +1)$  ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert in der betrachteten Bitstelle 1 "+1" ist. Entsprechend ist  $P(u_1 = -1)$  die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert in der Bitstelle 1 "-1" ist.

Bei einem Verfahren nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird bei der Optimierung nicht mit den Zuverlässigkeitswerten direkt gerechnet, sondern es werden Hilfszuverlässigkeitswerte verwendet, für die vorzugsweise folgende Formel gilt:

$$m(u_1) = P(u_1 = +1) - P(u_1 = -1).$$



Die Hilfszuverlässigkeitswerte haben gegenüber den Zuverlässigkeitswerten den Vorteil, daß sie für Wahrscheinlichkeiten  $p$  zwischen "0" und "1" einen Wertebereich zwischen "+1" und "-1" haben. Die Zuverlässigkeitswerte haben dagegen im angegebenen Funktionsbereich Funktionswerte von " $-\infty$ " bis " $+\infty$ ", so daß Berechnungen in einem beschränkten Zahlenbereich erschwert sind, wie er bei maschinellen Rechnern vorhanden ist. Die Umrechnung von Zuverlässigkeitswerten zu Hilfszuverlässigkeitswerten bzw. von Hilfszuverlässigkeitswerten zu Zuverlässigkeitswerten erfolgt aufgrund einer einfachen mathematischen Beziehung, die z.B. in Form von Tabellenwerten in einen Speicher gespeichert wird.

Durch eine rekursive Optimierung bei der der aktuelle Zuverlässigkeitswert bzw. der aktuelle Hilfszuverlässigkeitswert rekursiv aus dem Zuverlässigkeitswert bzw. dem Hilfszuverlässigkeitswert für den zuletzt bearbeiteten Rahmen berechnet wird, läßt sich der Rechenaufwand bei der Optimierung verringern.

Vorteilhafterweise wird zur Optimierung ein sogenanntes Kalman-Filter eingesetzt, bei dem die Optimierung ebenfalls rekursiv durchgeführt wird. Ein derartiges Filter ist z.B. im Aufsatz "Least-squares estimation: from Gauss to Kalman" von H. W. Sorenson angegeben, der im IEEE Spectrum, Band 7, Seiten 63 bis 68, vom Juli 1970 erläutert ist. Das dem Kalman-Filter zugrundeliegende mathematische Modell berücksichtigt die Tatsache, daß die tatsächlichen Zuverlässigkeitswerte nur indirekt über die auf einer fehlerbehafteten Beobachtung beruhenden Zuverlässigkeitswerte ermittelt werden können. Das Kalman-Filter nutzt weiterhin statistische Eigenschaften der Zuverlässigkeitswerte und der übertragenen Daten aus und verfolgt schnelle Änderung der Werte der übertragenen Daten mit ausreichender Geschwindigkeit.

Das Verfahren nach der Erfindung läßt sich vorteilhaft dann einsetzen, wenn zwischen Bitstellen aufeinanderfolgender

Rahmen Korrelationen auftreten. Dies ist z.B. bei Bitstellen für höherwertige Bits von Parametern in einem Rahmen der Fall, der gemäß GSM-Standard bei einem Mobilfunksystem übertragen wird. In einer Weiterbildung des Verfahrens der Erfindung wird die Korrelation in den genannten Bitstellen zur Decodierung dieser Bitstellen ausgenutzt.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Einrichtung zum Bearbeiten von mit einem Empfänger empfangenen Daten und insbesondere zum Durchführen der oben genannten Verfahren. Die oben genannten technischen Wirkungen gelten deshalb auch für diese Einrichtung.

Die angegebene Aufgabe wird gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung auch durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 15 gelöst. Dabei wird der aktuelle Zuverlässigkeitswert aus mindestens zwei beobachteten Zuverlässigkeitswerten durch Mittelwertbildung berechnet. Dieser Maßnahme liegt die Erkenntnis zugrunde, daß zwar der jeweils beobachtete Zuverlässigkeitswert nicht mit dem jeweiligen tatsächlichen Zuverlässigkeitswert übereinstimmt, daß sich jedoch Fehler bei der Beobachtung durch die Mittelwertbildung gegenseitig aufheben.

In einer Weiterbildung des Verfahrens mit Mittelwertbildung erfolgt diese nur bezüglich einer vorgegebenen Anzahl bereits bearbeiteter Rahmen, wobei die vorgegebene Anzahl über mehrere Mittelwertbildungen konstant bleibt. Durch diese Maßnahme wird ähnlich wie durch ein Fenster vorzugsweise nur der jeweils letzte Abschnitt der Folge aufeinanderfolgender Rahmen berücksichtigt. Somit kann eine schnelle Anpassung an wechselnde Bedingungen erfolgen. Bei einer rekursiven Durchführung des Viterbi-Algorithmus wird auch der aktuell bearbeitete Rahmen in das Fenster einbezogen.

In einer anderen Weiterbildung des Verfahrens mit Mittelwertbildung werden die z.B. vom Viterbi-Algorithmus bearbeiteten

Daten unmittelbar als beobachtete Zuverlässigkeitswerte verwendet. Diese Maßnahme führt deshalb zu einer sehr genauen Ermittlung der aktuellen Zuverlässigkeitswerte, weil der Mittelwert der bearbeiteten Daten mit dem Hilfszuverlässigkeitswert übereinstimmt, und dieser wie bereits erwähnt, eine gute Näherung für den tatsächlichen, fehlerfreien Zuverlässigkeitswert selbst ist.

Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf eine Einrichtung zum Bearbeiten von Empfangsdaten und insbesondere zum Durchführen des Verfahrens mit Mittelwertbildung nach dem Anspruch 19. Die eben genannten technischen Wirkungen gelten somit auch für diese Einrichtung.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung an Hand der Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:

Figur 1 ein Blockdiagramm mit wesentlichen Funktionseinheiten für eine Datenübertragung,

Figur 2 zwei zu übertragende Rahmen aus Daten ,

Figur 3 eine schematische Darstellung für eine erste Art der Berechnung eines Hilfszuverlässigkeitswertes in einem Kalman-Filter,

Figur 4 eine schematische Darstellung für eine zweite Art der Berechnung eines Hilfszuverlässigkeitswertes in einem Kalman-Filter,

Figur 5 ein Diagramm der Korrelationskoeffizienten für verschiedene Parameter aus einem GSM-Fullrate-Sprachcodierer, und

Figur 6 ein Diagramm der Korrelationskoeffizienten für die Bitstellen 0 bis 69 in einem GSM-Fullrate codierten Rahmen.

Figur 1 zeigt ein Blockdiagramm mit wesentlichen Funktionseinheiten für eine Datenübertragung. Dabei wird im wesentlichen auf die Übertragung eines Rahmens  $k$  bezug genommen, wobei der die natürlichen Zahlen annehmende Index  $k$  wegen der besseren Übersicht in Figur 1 und bei der folgenden Erläuterung dieser Figur nur in den Fällen mitgeschrieben wurde, wo eine Unterscheidung der Rahmen  $k$  für die Erfindung von Bedeutung ist. Der Aufbau des Rahmens  $k$  wird unten anhand der Figur 2 erläutert.

Eine in einem Sender 8 erzeugte Quellsymbolfolge  $\{q_{1,l'}\}$  besteht aus Quellsymbolen  $q_{1,l'}$ , die abhängig von den zu sendenden Informationen z.B. die Werte "+1" und "-1" haben. Der Index  $l'$  läuft für die im Rahmen  $k$  übertragenen Quellsymbole  $q_{1,l'}$  von 0 bis  $L'-1$ , wobei  $L'$  die Anzahl von Quellsymbolen  $q_{1,l'}$  je Rahmen  $k$  ist. Die Quellsymbolfolge  $\{q_{1,l'}\}$  wird durch einen Quellencodierer 10 komprimiert, z.B. mit einem GSM-Fullrate-Sprachcodierer. Dabei wird eine quellencodierte Folge  $\{u_l\}$  aus quellencodierten Symbolen  $u_l$  erzeugt. Die quellencodierten Symbole  $u_l$  haben entweder den Wert "+1" oder "-1". Der Index  $l$  läuft innerhalb eines Rahmens von 0 bis  $L-1$ , wobei  $L$  die Anzahl von quellencodierten Symbolen  $u_l$  in einem Rahmen ist. Dabei ist  $L'$  üblicherweise größer als  $L$ .

Die quellencodierte Folge  $\{u_l\}$  wird dann in einem Kanalcodierer 12 gegen Kanalstörungen codiert, wobei z.B. ein Faltungscodiercode verwendet wird. Dabei entsteht eine kanalcodierte Folge  $\{x_{1,n}\}$  aus Codeworten  $x_1$ . Innerhalb der Codeworte  $x_1$  werden die Bitstellen durch den Index  $n$  bezeichnet, der innerhalb eines Codewortes  $x_1$  von Null bis  $N-1$  läuft, wobei  $N$  die Anzahl der Bitstellen in einem Codewort  $x_1$  ist. Die Bitstellen  $x_{1,n}$  der Codeworte  $x_1$  haben wiederum entweder den numerischen Wert "+1" oder "-1". Die kanalcodierte Folge  $\{x_{1,n}\}$  wird in einem nicht dargestellten Modulator weiterverarbeitet und anschließend über eine Übertragungsstrecke 14 übertragen. Bei der Übertragung treten Störungen auf, z.B. Fading,

beschrieben durch einen Fadingfaktor  $a_k$ , und Rauschen, beschrieben durch den Rauschfaktor  $N_0$ .

Die Übertragungsstrecke 14 liegt zwischen dem Sender 8 und einem Empfänger 16. Der Empfänger 16 enthält gegebenenfalls eine nicht dargestellte Antenne zum Empfang der über die Übertragungsstrecke 14 übertragenen Signale, eine Abtasteinrichtung, einen Demodulator zum Demodulieren der Signale und einen Entzerrer zum Eliminieren der Intersymbolstörungen. Diese Einrichtungen wurden ebenfalls aus Vereinfachungsgründen in Figur 1 nicht dargestellt. Der Entzerrer gibt Empfangswerte  $y_{1,n}$  einer Empfangsfolge  $\{y_{1,n}\}$  aus. Die Empfangswerte  $y_{1,n}$  haben aufgrund der Störungen bei der Übertragung über die Übertragungsstrecke 14 Werte, die von "+1" und "-1" abweichen, z.B. "+0,2" oder "-3,7".

Die Empfangswerte  $y_{1,n}$  werden in einem Kanaldecoder 18 weiter bearbeitet. Die vom Kanaldecoder 12 durchgeführte Faltungscodierung wird im Kanaldecoder 18 wieder rückgängig gemacht, wobei Übertragungsfehler korrigiert werden sollen. Bei der Faltungsdecodierung wird z.B. der bekannte Viterbi-Algorithmus verwendet. Zur Durchführung des Viterbi-Algorithmus wird dem Kanaldecodierer 18 auch eine Kanalzustandsinformation  $LC_{1,n}$  zugeführt. Bei der Durchführung des Viterbi-Algorithmus im Kanaldecoder 18 wird eine sogenannte Metrik  $M_1^{(m)}$  des Pfades  $m$  für die Bitstelle 1 nach der folgenden Formel berechnet:

$$M_1^{(m)} = M_{1-1}^{(m)} + \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}_{1,n}^{(m)} LC_{1,n} y_{1,n} + \hat{u}_1^{(m)} L(u_{k,1}) \quad (1),$$

wobei  $M_{1-1}^{(m)}$  die alte Metrik des Pfades  $m$  ist, d.h. für die Bitstelle 1-1,  $\hat{x}_{1,n}^{(m)}$  die Bits des zum Pfad  $m$  und zur Bitstelle 1 gehörenden Codewortes sind,  $\hat{u}_1^{(m)}$  das zum Codewort  $\hat{x}_1^{(m)}$  gehörende decodierte Symbol und  $L(u_{k,1})$  ein ermittelter Zuverlässigkeitswert ist, der ein Maß für diejenige

Wahrscheinlichkeit ist, daß das quellencodierte Symbol  $u_1$  gleich "-1" ist.

Der Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k,1})$  wird in einer Recheneinheit  
5 20 ermittelt, deren Aufbau unten an Hand der Figuren 3 und 4 erläutert wird.

Die Kanalzustandsinformation  $L_{c1,n}$  wird implizit bestimmt, indem eine sogenannte Kanal-Soft-Ausgabe ermittelt wird, die  
10 dem Produkt aus der Kanalzustandsinformation  $L_{c1,n}$  und dem jeweiligen Empfangswert  $y_{1,n}$  entspricht. Für die Kanal-Soft-Ausgabe gilt die Beziehung:

$$L_c y = L(x/y) - L(x) \quad (2),$$

15

worin  $L(x/y)$  ein Zuverlässigkeitswert ist, der angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit in der jeweiligen Bitstelle des Codewort der Wert  $x$  auftritt, wenn der Empfangswert  $y$  empfangen wurde, und  $L(x)$  ein Zuverlässigkeitswert ist, der angibt,  
20 wie sicher der Wert  $x$  bestimmt werden kann. Für einen sogenannten Gauß-/Fading-Kanal gilt  $L_c = 4aE_s/N_0$ , wobei  $a$  der Fadingfaktor und  $E_s/N_0$  das Signal-Rausch-Verhältnis sind.

Der Kanaldecoder 18 erzeugt eine empfangene quellencodierte  
25 Folge  $\{\hat{u}_1\}$  aus quellencodierten bzw. kanaldecodierten Empfangssymbolen  $\hat{u}_1$ . Zu jedem quellencodierten Empfangssymbol  $\hat{u}_{k-1,1}$  gehört ein beobachteter Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$ , der eine sogenannte Soft-Ausgabe des Kanaldecodierers 18 ist. Der Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$   
30 ist ein Maß für die Zuverlässigkeit, mit der das quellencodierte Empfangssymbol  $\hat{u}_1$  durch den Kanaldecoder 18 bestimmt werden konnte. Der durch den Kanaldecoder 18 erzeugte Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  wird zur Unterscheidung von dem durch die Recheneinheit 20 berechneten  
35 Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k,1})$  im folgenden auch als der auf einer Beobachtung beruhende Zuverlässigkeitswert bzw. als der beobachtete Zuverlässigkeitswert bezeichnet. Der beobachtete

Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  wird durch den Kanaldecoder 18 erst mit einer Verzögerung von einem Rahmen  $k$  erzeugt. Diese Verzögerung wird durch den Index  $k-1$  deutlich. Bei dem im folgenden erläuterten Ausführungsbeispiel der Erfindung  
5 wird der beobachtete Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  in der Recheneinheit 20 verwendet, um den Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k,1})$  für den aktuell bearbeiteten Rahmen  $k$  zu ermitteln.

Die quellencodierten Empfangssymbole  $\hat{u}_{k-1,1}$  und/oder die  
10 beobachteten Zuverlässigkeitswerte  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  werden in einen Quellendecoder 22 eingegeben, der die quellencodierten Empfangssymbole  $\hat{u}_1$  decomprimiert, wobei eine Quellsymbolfolge  $\{\hat{q}_1\}$  aus empfangenen Quellsymbolen  $\hat{q}_1$  entsteht.

15 Zwei gestrichelte Pfeile 24 und 26, die an einer Addiereinheit 28 enden, sollen darauf hinweisen, daß in der Recheneinheit 20 neben den Zuverlässigkeitswerten  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  oder anstelle dieser Zuverlässigkeitswerte die quellencodierten Empfangssymbole  $\hat{u}_1$  und/oder Informationen verwendet werden,  
20 die im Quellendecoder 22 bei der Decodierung erzeugt werden. Die Recheneinheit 20 ermöglicht letztlich, daß die empfangene Quellsymbolfolge  $\{\hat{q}_1\}$  im wesentlichen mit der gesendeten Quellsymbolfolge  $\{q_1\}$  übereinstimmt und somit der Einfluß von Kanalstörungen bei der Übertragung hinreichend gut korri-  
25 giert wird.

Figur 2 zeigt zwei Rahmen, nämlich den aktuellen Rahmen  $k$  und den vorherigen Rahmen  $k-1$ , aus quellencodierten Symbolen  $u_1$ . Zu jedem Rahmen  $k$ ,  $k-1$  gehören  $L$  quellencodierte Empfangs-  
30 symbole  $u_1$ , so daß der Index  $1$  von  $0$  bis  $L-1$  läuft. Ein Zusammenhang zwischen den Rahmen  $k$ ,  $k-1$ ,  $k-2$  usw. wird erst durch die Recheneinheit 20 gemäß Figur 1 hergestellt. Dabei wird die Tatsache genutzt, daß zwischen bestimmten quellenco- dierten Symbolen, z.B. dem Symbol  $u_{k,1}$  und  $u_{k-1,1}$ , bzw.  
35 zwischen ihren Zuverlässigkeitswerten  $L(u_{k,1})$  und  $L(u_{k-1,1})$  aufeinanderfolgender Rahmen  $k-1$ ,  $k$  eine ausgeprägte Korrelation auftritt. Diese Korrelation wird bei der Erfindung durch

ein mathematisches Modell wiedergegeben, auf dessen Grundlage die Zuverlässigkeitswerte  $L(u_{k,1})$  ermittelt werden.

Werden die Metrikinkremente  $M_1^{(m)}$  für die zum Empfangssymbol  $\hat{u}_{k-1,1}$  gehörenden Zustände berechnet, so wird jeweils der Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k-1,1})$  gemäß Formel (1) berücksichtigt. Der Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt. Werden danach die Metriken  $M_1^{(m)}$  für die zum Empfangssymbol  $\hat{u}_{k,1}$  gehörenden Zustände ermittelt, so liefert die Recheneinheit 20, vgl. Figur 1, einen Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k,1})$ , der aus dem zu diesem Zeitpunkt bekannten Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  berechnet worden ist. Somit steht trotz der Verzögerung um einem Rahmen bis zum Erzeugen des auf einer Beobachtung beruhenden Zuverlässigkeitswertes  $L^*(\hat{u}_{k,1})$  ein Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k,1})$  für den Rahmen  $k$  mit ausreichender Genauigkeit zur Verfügung.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung für eine erste Art der Berechnung von Hilfszuverlässigkeitswerten in einem Kalman-Filter. Die Hilfszuverlässigkeitswerte werden weiter unten erläutert, nachdem zunächst das Kalman-Filter näher erläutert worden ist.

Im folgenden wird eine Schreibweise verwendet, die sich an die bei der Erläuterung eines Kalman-Filters in dem Aufsatz "Least-squares estimation: from Gauss to Kalman" von H. W. Sorenson verwendete Schreibweise anlehnt, vgl. IEEE Spectrum, Band 7, Seiten 63 bis 68, Juli 1970. Das dort in den Gleichungen (11') und (10') verwendete mathematische Modell ist mehrdimensional. Zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung wird jedoch auf den einfacheren Fall eines eindimensionalen Modells zurückgegriffen. In diesem Fall haben Vektoren nur eine Komponente und sind somit Skalare. Es ergibt sich folgendes Systemmodell:

$$x_k = p_k x_{k-1} + w_k \quad (3),$$



wobei  $x_k$  der Zustand zum Zeitpunkt  $k$ ,  $x_{k-1}$  der Zustand zum Zeitpunkt  $k-1$ ,  $\rho_k$  der Korrelationskoeffizient zwischen  $x_k$  und  $x_{k-1}$  sowie  $w_k$  eine Systemstörung zum Zeitpunkt  $k$  sind. Dieses Systemmodell wird zur Modellierung eines sogenannten Markovschen Prozesses erster Ordnung verwendet. Eine andere oft verwendete Bezeichnung für ein solches Systemmodell ist "autoregressives Modell erster Ordnung".

10 Das zugehörige Meßmodell lautet:

$$z_k = x_k + v_k \quad (4),$$

15 worin  $z_k$  ein Meßwert zum Zeitpunkt  $k$  und  $v_k$  eine Meßstörung zum Zeitpunkt  $k$  sind. Ein mit  $x_k$  zu multiplizierender Meßfaktor  $H_k$  hat den Wert "1" und wurde deshalb in Formel (4) nicht mitgeschrieben. Die Störungen  $w_k$  und  $v_k$  entstehen durch sogenanntes weißes Rauschen und haben den Mittelwert Null. Weiterhin werden die Varianz von  $w_k$  als  $Q_k$  und die Varianz von  $v_k$  als  $R_k$  bezeichnet.

Ausgehend von den Modellen nach den Formeln (3) und (4) ist der Kalman-Filter-Algorithmus in Übereinstimmung mit H. W. Sorenson durch die folgenden Formeln definiert:

$$\hat{x}_{k/k-1} = \rho_k \hat{x}_{k-1/k-1} \quad (5),$$

$$P_{k/k-1} = \rho_k^2 P_{k-1/k-1} + Q_{k-1} \quad (6),$$

$$30 \quad K_k = \frac{P_{k/k-1}}{P_{k/k-1} + R_k} \quad (7),$$

$$\hat{x}_{k/k} = \hat{x}_{k/k-1} + K_k (z_k - \hat{x}_{k/k-1}) \quad (8),$$

$$P_{k/k} = (1 - K_k) P_{k/k-1} \quad (9),$$

worin  $\hat{x}_k$  eine Schätzung für den Zustand  $x_k$  und  $P_k$  die Kovarianz des Fehlers  $e_k = x_k - \hat{x}_k$  ist. Bei den Indizes gibt der erste Index den jeweiligen Zeitpunkt  $k$  bzw.  $k-1$  an, zu dem die indizierte Größe berechnet wird bzw. wurde. Der durch  
5 einen Schrägstrich abgetrennte Index gibt an, zu welchem Zeitpunkt die zur Berechnung der jeweiligen indizierten Größe erforderlichen Werte zur Verfügung stehen. Im folgenden wird auch eine Schreibweise verwendet, bei der der zweite Index weggelassen wird, falls er zum Verständnis nicht notwendig  
10 ist.

Die Varianzen  $Q_k$ ,  $R_k$  sowie der Korrelationskoeffizient  $\rho_k$  sind vorzugsweise konstant und werden zu Beginn der Filterung vorgegeben. Bei der Vorgabe werden vorteilhaft Meßwerte  
15 berücksichtigt, die zuvor gemessen worden sind.

Der in den Formeln (5) bis (9) angegebene Kalman-Filter-Algorithmus ist im Sinne des mittleren quadratischen Fehlers optimal, d.h., die Summe der Abweichungen zwischen tatsächlichen Zuständen  $x_k$  und den geschätzten Zuständen  $\hat{x}$  ist minimal.  
20

Durch Einsetzen der Formel (8) in die Formel (5) ergibt sich eine sogenannte Prädiktenschätzung für  $\hat{x}_{k+1/k}$ :

25 
$$\hat{x}_{k+1/k} = \rho_{k+1}(\hat{x}_{k/k-1} + K_k(z_k - \hat{x}_{k/k-1})) \quad (10).$$

Eine Schätzung  $\hat{x}_{k+1/k+1}$  aufgrund eines zum Bearbeitungszeitpunkt  $k+1$  vorhandenen Meßwertes  $z_{k+1}$  ergibt sich durch Einsetzen der Formel (5) in die Formel (8):  
30

$$\hat{x}_{k+1/k+1} = \rho_{k+1}\hat{x}_{k/k} + K_{k+1}(z_{k+1} - \rho_{k+1}\hat{x}_{k/k}) \quad (11).$$

Die Schätzwerte  $\hat{x}_{k+1}$  sind betragsmäßig kleiner oder gleich  
35 dem maximalen Betrag der Meßwerte  $z_k$ . Somit arbeitet der Kalman-Filter-Algorithmus stabil. Durch den neuen Meßwert  $z_k$

bzw.  $z_{k+1}$  entsteht ein Beitrag  $(z_k - \hat{x}_{k/k-1})$  bzw.  $(z_{k+1} - \rho_{k-1} \hat{x}_{k/k})$ .

Durch mathematische Umstellungen, bei denen in den Formeln (7) und (9) die Kovarianz  $P_{k/k-1}$  mit Hilfe der Formel (6) ersetzt wird, und bei denen anschließend die Kovarianz  $P_{k-1/k-1}$  eliminiert wird, ergibt sich die folgende Formel für die Berechnung des Verstärkungsfaktors  $K$ :

$$10 \quad K_{k+1} = \frac{Q_k + \rho_{k+1}^2 R_k K_k}{Q_k + R_{k+1} + \rho_{k+1}^2 R_k K_k} \quad (12).$$

Aus der Formel (12) ergibt sich, daß, wenn die Meßstörungen  $v_k$  im Vergleich zu den Systemstörungen  $w_k$  sehr klein sind, und somit  $R_k$  wesentlich kleiner als  $Q_k$  ist, der Verstärkungsfaktor  $K_k$  etwa den Wert Eins annimmt. Hat der Verstärkungsfaktor  $K_k$  den Wert Eins, so wird gemäß den Formeln (10) und (11) der optimale Schätzwert  $\hat{x}_{k+1}$  nur durch den aktuellen Meßwert  $z_k$  bzw.  $z_{k+1}$  bestimmt. Sind dagegen die Systemstörungen  $w_k$  im Vergleich zu den Meßstörungen  $v_k$  gering, dann geht der Verstärkungsfaktor  $K_k$  gegen Null. Aus den Gleichungen (10) und (11) folgt für einen Verstärkungsfaktor  $K_k$  von etwa Null, daß der optimale Schätzwert  $\hat{x}_{k+1}$  nur vom vorhergehenden Schätzwert  $\hat{x}_k$  abhängt. Diese Eigenschaften des Kalman-Filters gewährleisten eine gute Schätzung der tatsächlichen Zustände  $x_k$ , die fehlerfrei sind.

Die Gleichung (11) kann auch wie folgt geschrieben werden:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+1/k+1} &= (1 - K_{k+1}) \rho_{k+1} \hat{x}_{k/k} + K_{k+1} z_k = \dots \\ &= h_0 \hat{x}_{0/0} + \sum_{j=1}^{k+1} h_j z_j \end{aligned} \quad (13),$$

wobei  $h_j$  die von  $z_j$  ( $j=1, \dots, k+1$ ) unabhängigen Filterkonstanten sind. Somit ist der Schätzwert  $\hat{x}_{k+1}$  eine lineare Kombination von allen bisher vorhandenen Meßwerten  $z_k$ . Aus

den Gleichungen (10), (11) und (13) läßt sich entnehmen, daß im Schätzwert  $\hat{x}_{k+1}$  sowohl die statistische Korrelation (Statistik erster Ordnung) als auch die Wertverteilung (Statistik nullter Ordnung) der Meßwerte  $z_k$  berücksichtigt wird.

Die oben angegebenen Formeln können unmittelbar zur Berechnung der Zuverlässigkeitswerte  $L(u_{k,1})$  verwendet werden, wenn  $\hat{x}_{k+1}$  durch  $L(u_{k,1})$  und  $z_k$  durch  $L^*(\hat{u}_{k,1})$  ersetzt werden. Jedoch ist es aus den im folgenden genannten Gründen zweckmäßig, anstelle der Zuverlässigkeitswerte  $L(u_{k,1})$  und  $L^*(\hat{u}_{k,1})$  Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_{k,1})$  und  $m^*(\hat{u}_{k,1})$  zu verwenden, die sich z.B. aus einer Linearisierung der stark nichtlinearen Abhängigkeit der Zuverlässigkeitswerte  $L(u_{k,1})$  von einer Wahrscheinlichkeit  $p$  ergeben.

Für die Zuverlässigkeitswerte gilt allgemein folgende Definition:

$$L(u_1) = \log \frac{P(u_1 = +1)}{P(u_1 = -1)} = \log \frac{1-p}{p} \quad (14).$$

Dabei wird  $u_1$  als Zufallsvariable mit den Elementen  $\{+1, -1\}$  angesehen.  $P(u_1 = -1) = p$  ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß  $u_1$  den Wert "-1" hat.  $P(u_1 = +1) = 1-p$  ist dagegen die Wahrscheinlichkeit, daß  $u_1$  den Wert "+1" hat. Die Abkürzung "log" kennzeichnet den natürlichen Logarithmus. Die Zuverlässigkeitswerte werden auch als Softwerte oder als logarithmisches Wahrscheinlichkeitsverhältnis bezeichnet.

Gemäß der Definition (14) ist der Zuverlässigkeitswert eine reelle Zahl im Bereich von  $[-\infty, +\infty]$ . Klassifiziert man  $u_1$  an Hand der Werte  $L(u_1)$  als "+1" oder "-1", dann gibt das Vorzeichen  $\text{sign}(L(u_1))$  die sogenannte Hard-Entscheidung und der Betrag  $|L(u_1)|$  die Zuverlässigkeit der Entscheidung an, die auch als Soft-Wert bezeichnet wird.

Betrachtet man die oben angegebene Formel (1) zur Berechnung der Metriken  $M_k(m)$ , so wird diese allein durch  $L(u_{k,1})$  bestimmt, wenn der Zuverlässigkeitswert gegen "+∞" oder "-∞" geht. Dies ist, wie aus Formel (14) zu entnehmen, für  $p$  gegen Null bzw.  $p$  gegen Eins der Fall. Außerdem ist bei einer Realisierung mit einem Prozessor die Umsetzung der log-Funktion oft störend. Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird zur Beseitigung dieser Nachteile die Beziehung zwischen  $p$  und  $L(u_k)$  linear approximiert:

$$L(u_k) \approx \bar{L}(u_k) \equiv K(1-2p) = Km(u_k) \quad (15).$$

Wobei  $\bar{L}(u_k)$  die approximierte Funktion ist,  $K$  eine Konstante und  $m(u_k)$  die bereits erwähnten Hilfszuverlässigkeitswerte sind. Die Konstante  $K$  hat den numerischen Wert "2", so daß die Ableitung der Funktion  $L(u_k)$  nach der Wahrscheinlichkeit  $p$  für die Wahrscheinlichkeit  $p=0,5$  gleich der Ableitung der Funktion  $\bar{L}(u_k)$  nach der Wahrscheinlichkeit  $p$  an der Stelle  $p=0,5$  ist.

Für die Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_k)$  gilt folgende Beziehung:

$$m(u_k) = 1-2p = (-1)p + (+1)(1-p) = E\{u_k\} \quad (16).$$

Aus dieser Formel ist zu entnehmen, daß die Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_k)$  die Mittelwerte von  $u_k$  sind.

Der Zusammenhang zwischen den Hilfszuverlässigkeitswerten und den Zuverlässigkeitswerten ergibt sich aus den Formeln (14) und (16) zu:

$$m(u_k) = \tanh \frac{L(u_k)}{2} \quad (17),$$

bzw. zu:

$$L(u_k) = \log \frac{1+m(u_k)}{1-m(u_k)} \quad (18).$$

Der Hilfszuverlässigkeitswert  $m(u_k)$  hat eine ähnliche Bedeutung wie der Zuverlässigkeitswert  $L(u_k)$ , d.h. das Vorzeichen  $\text{sign}(m(u_k))$  ist die sogenannte Hard-Entscheidung und der Betrag  $|m(u_k)|$  ist die Zuverlässigkeit der Entscheidung - die sogenannte Soft-Entscheidung. Gemäß der Formel (15) bzw. (17) wird der vom Kanaldecoder 18, vgl. Fig. 1, erzeugte beobachtete Zuverlässigkeitswert  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$  z.B. mit Hilfe einer Tabelle in einen Hilfszuverlässigkeitswert  $m(u_{k-1,1})$  umgewandelt. Der von der Recheneinheit 20, vgl. Figur 1, ermittelte Hilfszuverlässigkeitswert  $m(u_{k,1})$  wird dann ebenfalls unter Verwendung einer Tabelle in den Zuverlässigkeitswert  $L(u_{k,1})$  umgewandelt. Die Approximation der Zuverlässigkeitswerte  $L(u_k)$  durch die Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_k)$  gemäß Gleichung (15) führt in der Praxis ebenfalls zu guten Ergebnissen.

Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Hilfszuverlässigkeitswerten  $m_k$ , wobei die Abhängigkeit von  $u_k$  nicht mehr mitgeschrieben wird, ergeben sich für den Kalman-Filter aus den Gleichungen (10) und (12) die folgende Berechnungsvorschrift:

$$m_{k/k-1} = \rho_k (m_{k-1/k-2} + K_{k-1} (m_{k-1}^* - m_{k-1/k-2})) \quad (19)$$

$$K_{k-1} = \frac{\sigma_{w,k-2}^2 + \rho_{k-1}^2 \sigma_{v,k-2}^2 K_{k-2}}{\sigma_{w,k-2}^2 + \sigma_{v,k-1}^2 + \rho_{k-1}^2 \sigma_{v,k-2}^2 K_{k-2}} \quad (20).$$

Wobei  $\sigma_{w,k}^2$  der bereits erwähnten Varianz  $Q_k$  und  $\sigma_{v,k}^2$  der ebenfalls erwähnten Varianz  $R_k$  entspricht.

Figur 3 zeigt in einem Blockschema die Berechnungen gemäß Formel (19). Mit einer Subtrahiereinheit 50 wird der in

Formel (19) in der inneren Klammer stehende Ausdruck ( $m_{k-1}^* - m_{k-1/k-2}$ ) berechnet. Das Ergebnis wird in einer Multipliziereinheit 52 mit dem Verstärkungsfaktor  $K_{k-1}$  multipliziert, der gemäß Formel (20) berechnet worden ist. Zum Ergebnis der Multiplikation wird in einer Addiereinheit 54 der Hilfszuverlässigkeitswert  $m_{k-1/k-2}$  addiert, womit der Ausdruck innerhalb der äußeren Klammer in Formel (19) bestimmt ist. Anschließend wird das Ergebnis der Berechnung dieses Ausdrucks in einer Multipliziereinheit 56 mit dem Korrelationsfaktor  $\rho_k$  multipliziert. Das Ergebnis der Multiplikation ist der Hilfszuverlässigkeitswert  $m_{k/k-1}$ , der, wie bereits erwähnt, in einen Zuverlässigkeitswert umgewandelt wird, bevor er vom Kanaldecoder 18 (vgl. Fig. 1) verwendet wird.

Eine Verzögerungseinheit 58 erzeugt aus dem Hilfszuverlässigkeitswert  $m_{k/k-1}$  durch eine Verzögerung um einen Rahmen den Hilfszuverlässigkeitswert  $m_{k-1/k-2}$  für den nächsten Bearbeitungsschritt. In Figur 3 ist eine Multipliziereinheit 60 angedeutet, in der der Hilfszuverlässigkeitswert  $m_{k-1/k-2}$  mit dem Meßfaktor  $H_{k-1}$  multipliziert wird, bevor er in der Subtrahiereinheit 50 verwendet wird. Der Meßfaktor  $H_{k-1}$  hat jedoch wie oben erwähnt im Ausführungsbeispiel den Wert Eins.

In einem anderen Ausführungsbeispiel mit Hilfszuverlässigkeitswerten ist zum Zeitpunkt  $k$  bereits der Hilfszuverlässigkeitswert  $m_k^*$  bekannt, z.B. wenn eine iterative Decodierung durchgeführt wird. In diesem Fall gelten für das Kalman-Filter in Übereinstimmung mit den Formeln (11) und (12) die beiden folgenden Formeln:

$$m_{k/k} = \rho_k m_{k-1/k-1} + K_k (m_k^* - \rho_k m_{k-1/k-1}) \quad (21)$$

$$K_k = \frac{\sigma_{w,k-1}^2 + \rho_k^2 \sigma_{v,k-1}^2 K_{k-1}}{\sigma_{w,k-1}^2 + \sigma_{v,k}^2 + \rho_k^2 \sigma_{v,k-1}^2 K_{k-1}} \quad (22)$$

Figur 4 zeigt die Berechnung der Formel (21). Die Darstellung in der Figur 4 entspricht im wesentlichen der Darstellung in der Figur 3, so daß bereits erläuterte Funktionseinheiten nicht noch einmal erläutert werden, jedoch zur Unterscheidung die zugehörigen Bezugszeichen einem hochgestellten Strich erhalten. In Figur 4 ist im Vergleich zur Figur 3 der Index k-1 durch den Index k ersetzt.

Als Anfangsbedingungen werden in den Ausführungsbeispielen nach Figur 3 oder Figur 4 z.B. gewählt:  $m_{0/-1} = m_{0/0} = 0$  und  $K_0 = 0$ . Die Varianzen  $\sigma_{w,k}^2$  und  $\sigma_{v,k}^2$  werden aufgrund von Meßwerten vorgegeben. Der Korrelationskoeffizient  $\rho_k$  wird ebenfalls aufgrund von Meßwerten vorgegeben, die z.B. mit Hilfe der unten erläuterten Figur 6 ermittelt werden. Die Varianzen  $\sigma_{w,k}^2$  und  $\sigma_{v,k}^2$  sowie der Korrelationskoeffizient  $\rho_k$  können auch während des Filterungsprozesses nach vorgegebenen, gegebenenfalls experimentell bestimmten Funktionen dynamisch berechnet werden.

In den Figuren 3 und 4 ist jeweils ein Kalman-Filter für eine Bitstelle 1 eines Rahmens k, vgl. Figur 2 gezeigt. In der Regel gibt es mehrere Bitstellen 1, die von Rahmen zu Rahmen korrelieren. In diesem Fall wird für jede dieser Bitstellen 1 ein Kalman-Filter gemäß Figur 3 oder gemäß Figur 4 in der Recheneinheit 20 verwendet, vgl. Figur 1.

Figur 5 zeigt ein Diagramm, bei dem auf der Abszissenachse die Korrelationskoeffizienten für auf der Ordinatenachse abgetragene Parameternummern 0 bis 75 gezeigt sind. Parameter mit den Nummern 0 bis 75 entsprechen den durch einen GSM-Fullrate-Sprachcoder generierten Parametern, vgl. GSM-Recommendation 06.10 "European digital cellular telecommunications system; Full rate speech transcoding", 1995. Der GSM-Fullrate-Sprachcoder ist z.B. der Quellencodierer 10, vgl. Figur 1.



Die Parameter 0 bis 7 sind die sogenannten LAR-Koeffizienten (logarithmical area ratio), die bei der LPC-Analyse erzeugt werden (linear prediction coding). Die Korrelation dieser Koeffizienten ist durchgängig größer als 0,3. Auch die Parameter Nr. 9, 26, 43 und 60, die Ähnlichkeitsmaße  $b$  für die sogenannte LTP sind (long term prediction), haben eine Korrelation, die größer als 0,2 ist. In jedem Rahmen gibt es außerdem vier  $X_{MAX}$ -Koeffizienten aus der sogenannten RPE-Analyse (regular pulse exciting), die sich von Rahmen zu Rahmen nur wenig ändern und einen Korrelationskoeffizienten größer als 0,7 haben. Die Korrelationen der genannten Parameter treten auch in den höherwertigen Bitstellen auf, in denen diese Parameter übertragen werden.

Figur 6 zeigt ein Diagramm der Korrelationskoeffizienten für die Bitstellen 0 bis 69 in einem GSM-Rahmen. Die Werte vieler Bitstellen haben eine beachtliche Inter-Rahmen-Korrelation, d.h. der Korrelationskoeffizient zwischen  $u_k$  und  $u_{k-1}$  ist größer als 0,3. An Hand der in Gleichung (16) gezeigten Mittelwertbildung ist zu erkennen, daß der Korrelationskoeffizient  $\rho_k$  zwischen  $m(u_k)$  und  $m(u_{k-1})$  noch deutlich größer sein muß als der Korrelationskoeffizient zwischen  $u_k$  und  $u_{k-1}$ , für den genannten Wert typischerweise 0,8 bis 0,9, so daß das mathematische Modell der Formeln (3) den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, und die mit dem Kalman-Filter erzeugten Zuverlässigkeitswerte  $L(u_{k,1})$  zu einer Verbesserung des Decodiervorgangs führen.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anstelle des in den Formeln (3) und (4) angegebenen eindimensionalen Modells ein mehrdimensionales Modell verwendet. In diesem Fall gilt die im bereits genannten Aufsatz von Sorensen angegebene Vektorschreibweise. Das mehrdimensionale Modell wird insbesondere dann eingesetzt, wenn neben den Inter-Rahmen-Korrelationen auch Intra-Rahmen-Korrelationen berücksichtigt werden.

Die Berechnung der Zuverlässigkeitswerte bzw. der Hilfszuverlässigkeitswerte kann auch ohne Optimierungsverfahren mit etwas eingeschränkter aber doch für viele Zwecke ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Dabei wird der oben in Formel (16) angegebene Zusammenhang genutzt, indem die Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_k)$  nach der folgenden Formel ermittelt werden:

$$m(u_k) = E\{u_k\} \approx \bar{u}_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \hat{u}_{k-j} \quad (23)$$

10

wobei  $N$  eine vorgegebene Anzahl von Rahmen ist, über die eine sogenannte Fensterung erfolgt, d.h. nur die quellencodierten Empfangssymbole  $\hat{u}_{k,1}$  der letzten  $N$ -Rahmen werden berücksichtigt. Durch diese Maßnahme werden auch schnelle Änderungen des zu schätzenden Signals erfaßt.

15

Anstelle der Empfangssymbole  $\hat{u}_k$  können auch die zugehörigen Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_k)$  oder  $m^*(\hat{u}_k)$  verwendet werden. Die ermittelten Hilfszuverlässigkeitswerte  $m(u_k)$  werden dann wie oben erläutert weiter bearbeitet.

20

Die Formel (23) kann mittels der Definition der Hilfszuverlässigkeitswerte, nämlich  $m=1-2p$  auch folgendermaßen ausgedrückt werden:

25

$$\hat{p} = \frac{\text{Anzahl der Bits } \hat{u}_{k-j} = -1 (j=1,2,\dots,N)}{N} \quad (24)$$

30

Anhand der letzten  $N$ -decodierten Empfangssymbole  $\hat{u}_{k-1}$ ,  $\hat{u}_{k-2}$ , ...,  $\hat{u}_{k-N}$  erfolgt zunächst die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit  $p$  als die relative Häufigkeit  $\hat{p}$  von Werten "-1". Danach wird der Zuverlässigkeitswert  $L(u_k)$  mittels der Formel (14) direkt berechnet, wobei die Wahrscheinlichkeit durch die genäherte Wahrscheinlichkeit  $\hat{p}$  zu ersetzen ist.

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Bearbeiten von mit einem Empfänger (16) empfangenen Daten,

bei dem in aufeinanderfolgenden Rahmen (k) über eine Übertragungsstrecke (14) übertragene Daten empfangen werden, wobei ein Rahmen (k) eine vorgegebene Anzahl von Bitstellen (l) enthält,

und bei dem die empfangenen Daten mit Hilfe eines Metrikinkremente verwendenden Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder Maximum-Likelihood-Algorithmus bearbeitet werden,

wobei die Metrikinkremente für mindestens eine Bitstelle (l), deren Wert und/oder deren Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,l})$ ) von Rahmen (k) zu Rahmen (k-1) korreliert, abhängig von einem für den aktuell bearbeiteten Rahmen (k) ermittelten aktuellen Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,l})$ ) berechnet werden, der ein Maß für die Wahrscheinlichkeit ist, daß der Wert der Bitstelle (l) einen vorgegebenen Wert hat,

dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Ermitteln des aktuellen Zuverlässigkeitswerts ( $L(u_{k,l})$ ) mindestens ein beobachteter Zuverlässigkeitswert ( $L^*(\hat{u}_{k-1,l}), L^*(\hat{u}_{k,l})$ ) verwendet wird, der aus einem bereits bearbeiteten Rahmen (k-1) oder aus dem aktuell bearbeiteten Rahmen (k) für die Bitstelle (l) bestimmt wird,

und daß der aktuelle Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,l})$ ) so ermittelt wird, daß die für mehrere Rahmen (k) gebildete Summe der Abweichungen eines fehlerfreien Zuverlässigkeitswertes für den jeweiligen Rahmen (k) und des für

denselben Rahmen (k) ermittelten Zuverlässigkeitswertes ( $L(u_{k,1})$ ) minimal wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß  
5 die Zuverlässigkeitswerte nach der Beziehung:

$$L(u_1) = \log \frac{P(u_1 = +1)}{P(u_1 = -1)} \quad (42)$$

ermittelt werden, worin  $L(u_1)$  der Zuverlässigkeitswert  
10 ist,  $u_1$  den Wert der Bitstelle 1 innerhalb des Rahmens bezeichnet,  $P(u_1 = +1)$  die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß der Wert in der Bitstelle 1 einen ersten Wert hat, vorzugsweise den numerischen Wert "+1", und wobei  $P(u_1 = -1)$  die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß der Wert in der  
15 Bitstelle 1 einen zweiten Wert hat, vorzugsweise den numerischen Wert "-1".

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß der aktuelle Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) rekursiv,  
20 vorzugsweise unter Verwendung eines Kalman-Filters (20), aus dem für den zuletzt bearbeiteten Rahmen (k-1) ermittelten Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß  
25 der aktuelle Zuverlässigkeitswert nach folgender Formel berechnet wird:

$$L_k = \rho_k (L_{k-1} + K_{k-1} (L_{k-1}^* - L_{k-1}))$$

30 und/oder daß der aktuelle Zuverlässigkeitswert nach folgender Formel berechnet wird:

$$L_k = \rho_k L_{k-1} + K_k (L_k^* - \rho_k L_{k-1})$$

wobei  $L_k$  der Zuverlässigkeitswert für den Rahmen  $k$ ,  $\rho_k$  ein vorgegebener Korrelationskoeffizient,  $L_{k-1}$  bzw.  $L_k$  der beobachtete Zuverlässigkeitswert für den Rahmen  $k-1$  bzw.  $k$  ist,

und wobei  $K_k$  bzw.  $K_{k-1}$  ein Verstärkungsfaktor ist, der nach der folgenden Formel rekursiv berechnet wird:

$$K_k = \frac{\sigma_{w,k-1}^2 + \rho_k^2 \sigma_{v,k-1}^2 K_{k-1}}{\sigma_{w,k-1}^2 + \sigma_{v,k}^2 + \rho_k^2 \sigma_{v,k-1}^2 K_{k-1}}$$

in der  $\sigma_{w,k-1}^2$  die Varianz einer Systemstörung und  $\sigma_{v,k-1}^2$  die Varianz einer Meßstörung sind.

5. Verfahren zum Bearbeiten von durch einen Empfänger (16) empfangenen Daten,

bei dem in aufeinanderfolgenden Rahmen ( $k$ ) über eine Übertragungsstrecke (14) übertragene Daten empfangen werden, wobei ein Rahmen ( $k$ ) eine vorgegebene Anzahl von Bitstellen (1) enthält,

und bei dem die empfangenen Daten mit Hilfe eines Metrikinkremente verwendenden Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder Maximum-Likelihood-Algorithmus bearbeitet werden,

wobei die Metrikinkremente für mindestens eine Bitstelle (1), deren Wert und/oder Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) von Rahmen ( $k$ ) zu Rahmen ( $k-1$ ) korreliert, abhängig von einem für den aktuell bearbeiteten Rahmen ( $k$ ) ermittelten aktuellen Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) berechnet werden, der ein Maß für die Wahrscheinlichkeit ist, daß der Wert der Bitstelle (1) fehlerfrei bestimmt werden kann,

dadurch gekennzeichnet, daß zum Ermitteln des aktuellen Zuverlässigkeitswerts ( $L(u_{k,1})$ ) mindestens ein beobachteter Zuverlässigkeitswert ( $L^*(\hat{u}_{k-1,1}), L^*(\hat{u}_{k,1})$ ) verwendet wird, der aus einem bereits bearbeiteten Rahmen (k-1) oder aus dem aktuell bearbeiteten Rahmen (k) für die Bitstelle (1) bestimmt wird,

daß unter Verwendung einer genauen Umrechnungsfunktion oder einer Approximationsfunktion aus dem beobachteten Zuverlässigkeitswert ( $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$ ) ein beobachteter Hilfszuverlässigkeitswert ( $m^*(\hat{u}_{k-1,1})$ ) ermittelt wird,

daß ein aktueller Hilfszuverlässigkeitswert ( $m(u_{k,1})$ ) so ermittelt wird, daß die für mehrere Rahmen (k) gebildete Summe der Abweichungen eines fehlerfreien Hilfszuverlässigkeitswertes für den jeweiligen Rahmen (k) und des für denselben Rahmen (k) ermittelten Hilfszuverlässigkeitswertes ( $m(u_{k,1})$ ) minimal wird,

und daß unter Verwendung der Umrechnungsfunktion oder der Approximationsfunktion aus dem ermittelten Hilfszuverlässigkeitswert ( $m(u_{k,1})$ ) der aktuelle Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß für den Hilfszuverlässigkeitswert die folgende Formel gilt:

$$m(u_1) = P(u_1 = +1) - P(u_1 = -1),$$

wobei  $u_1$  den Wert der Bitstelle 1 innerhalb des Rahmens bezeichnet,  $P(u_1 = +1)$  die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß der Wert  $u_1$  einen ersten Wert hat, vorzugsweise den numerischen Wert "+1", und wobei  $P(u_1 = -1)$  die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß der Wert  $u_1$  einen zweiten Wert hat, vorzugsweise "-1".

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß der aktuelle Hilfszuverlässigkeitswert ( $m(u_{k,1})$ ) rekursiv, vorzugsweise unter Verwendung eines Kalman-Filters (20), aus dem für den zuletzt bearbeiteten Rahmen (k-1) ermittelten Hilfszuverlässigkeitswert ( $m(u_{k-1,1})$ ) berechnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß der aktuelle Hilfszuverlässigkeitswert nach der folgenden Formel berechnet wird:

$$m_k = \rho_k (m_{k-1} + K_k (m_{k-1}^* - m_{k-1}))$$

und/oder daß der aktuelle Wahrscheinlichkeitswert  $m_k$  nach folgender Formel berechnet wird:

$$m_k = \rho_k m_{k-1} + K_k (m_k^* - \rho_k m_{k-1})$$

wobei  $m_k$  der Hilfszuverlässigkeitswert für den Rahmen k,  $\rho_k$  ein Korrelationskoeffizient,  $m_k^*$  bzw.  $m_{k-1}^*$  der beobachtete Hilfszuverlässigkeitswert und  $K_k$  bzw.  $K_{k-1}$  ein Verstärkungsfaktor ist, der vorzugsweise nach der folgenden Formel rekursiv bestimmt wird:

$$K_k = \frac{\sigma_{w,k-1}^2 + \rho_k^2 \sigma_{v,k-1}^2 K_{k-1}}{\sigma_{w,k-1}^2 + \sigma_{v,k}^2 + \rho_k^2 \sigma_{v,k-1}^2 K_{k-1}}$$

wobei  $\sigma_{w,k-1}^2$  die Varianz einer Systemstörung und  $\sigma_{v,k-1}^2$  die Varianz einer Meßstörung sind.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Korrelationskoeffizient  $\rho_k$ , die Varianz  $\sigma_w^2$  der Systemstörung und die Varianz  $\sigma_v^2$  der Meßstörung fest vorgegeben werden,

wobei bei der Vorgabe vorzugsweise Messungen berücksichtigt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung des aktuellen Zuverlässigkeitswertes folgendes mathematisches Modell verwendet wird:

$$X_k = \Phi_{k,k-1} X_{k-1} + W_k$$

und

$$Z_k = H_k X_k + V_k$$

wobei  $X_k$  einen Zustandsvektor für den Rahmen  $k$ ,  $\Phi_k$  eine Systemmatrix,  $W_k$  einen Systemstörvektor,  $Z_k$  einen Meßvektor,  $H_k$  eine Meßmatrix und  $V_k$  einen Meßstörvektor bezeichnen.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Decodieren von codiert übertragenen Daten verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren bei einer Datenübertragung in einem Mobilfunksystem eingesetzt wird, das vorzugsweise nach dem GSM-Standard arbeitet.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß in der Bitstelle (1) vorzugsweise ein höherwertiges Bit eines im Rahmen (k) übertragenen Parameters übertragen wird.

14. Einrichtung (16) zum Bearbeiten von Empfangsdaten, insbesondere zum Durchführen des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche,



mit einer Empfangseinheit zum Empfangen von über eine Übertragungsstrecke (14) übertragenen Daten, die in Rahmen (k, k-1) aus einer vorgegebenen Anzahl von Bitstellen (1) übertragen werden,

einer Metrikinkrementeinheit (18), welche die empfangenen Daten mit Hilfe eines Metrikinkrementes verwendenden Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder Maximum-Likelihood-Algorithmus bearbeitet,

und mit einer Recheneinheit (20), die für mindestens eine Bitstelle (1), deren Wert und/oder Zuverlässigkeitswert von Rahmen (k) zu Rahmen (k-1) korreliert, einen aktuellen Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) ermittelt, der an die Metrikinkrementeinheit (18) ausgegeben wird,

dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit (20) zum Ermitteln des aktuellen Zuverlässigkeitswerts ( $L(u_{k,1})$ ) mindestens einen beobachteten Zuverlässigkeitswert ( $L^*(\hat{u}_{k-1,1}), L^*(\hat{u}_{k,1})$ ) verwendet, der aus einem bereits bearbeiteten Rahmen (k-1) oder aus dem aktuell bearbeiteten Rahmen (k) für die Bitstelle (1) bestimmt wurde,

und dadurch, daß die Recheneinheit (20) den Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) so ermittelt, daß die für mehrere Rahmen (k) gebildete Summe der Abweichungen eines fehlerfreien Zuverlässigkeitswertes eines Rahmens und des für denselben Rahmen (k) ermittelten Zuverlässigkeitswertes ( $L(u_{k,1})$ ) minimal wird,

oder dadurch, daß die Recheneinheit (20) den Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) so ermittelt, daß die für mehrere Rahmen (k) gebildete Summe der Abweichungen eines im wesentlichen fehlerfreien Hilfszuverlässigkeitswertes für den jeweiligen Rahmen (k) und eines für denselben Rahmen (k) ermittelten Hilfszuverlässigkeitswertes ( $m(u_{k,1})$ ) minimal wird, wobei die Hilfszuverlässigkeitswerte

( $m(u_{k,1})$ ) aus den Zuverlässigkeitswerten ( $L(u_{k,1})$ ) mittels einer Umrechnungsfunktion oder einer Approximationsfunktion berechnet werden.

- 5 15. Verfahren zum Bearbeiten von mit einem Empfänger (16) empfangenen Daten,

10 bei dem in aufeinanderfolgenden Rahmen (k) über eine Übertragungsstrecke (14) übertragene Daten empfangen werden, wobei ein Rahmen (k) eine vorgegebene Anzahl von Bitstellen (1) enthält,

15 und bei dem die empfangenen Daten mit Hilfe eines Metrikinkremente verwendenden Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder Maximum-Likelihood-Algorithmus bearbeitet werden,

20 wobei die Metrikinkremente für mindestens eine Bitstelle (1), deren Wert und/oder Zuverlässigkeitswert von Rahmen (k) zu Rahmen (k-1) korreliert, abhängig von einem für den aktuell bearbeiteten Rahmen (k) ermittelten aktuellen Zuverlässigkeitswert berechnet ( $L(u_{k,1})$ ;  $m(u_{k,1})$ ) werden, der ein Maß für die Wahrscheinlichkeit ist, daß der Wert der Bitstelle (1) einen vorgegebenen Wert hat,

25 dadurch gekennzeichnet, daß zum Ermitteln des aktuellen Zuverlässigkeitswertes ( $L(u_{k,1})$ ;  $m(u_{k,1})$ ) mindestens zwei beobachtete Zuverlässigkeitswerte ( $L^*(\hat{u}_{k,1})$ ,  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$ ;  $m^*(\hat{u}_{k,1})$ ,  $m^*(\hat{u}_{k-1,1})$ ) oder mindestens zwei bereits ermittelte Zuverlässigkeitswerte ( $L(u_{k,1})$ ,  $L(u_{k-1,1})$ ;  $m(u_{k,1})$ ,  $m(u_{k-1,1})$ ) verwendet werden, die aus zugehörigen Rahmen (k, k-1) für die Bitstelle (1) bestimmt werden,

35 und daß der aktuelle Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ,  $m(u_{k,1})$ ) durch Mittelwertbildung aus den beobachteten Zuverlässigkeitswerten ( $L^*(\hat{u}_{k,1})$ ,  $L^*(\hat{u}_{k-1,1})$ ;  $m^*(\hat{u}_{k,1})$ ,  $m^*(\hat{u}_{k-1,1})$ ) oder aus den bereits ermittelten Zuverlässigkeitswerten ( $L(u_{k,1})$ ,  $L(u_{k-1,1})$ ;  $m(u_{k,1})$ ,  $m(u_{k-1,1})$ ) bestimmt werden.

sicherheitswerten ( $L(u_k, 1)$ ,  $L(u_{k-1}, 1)$ ;  $m(u_k, 1)$ ,  $m(u_{k-1}, 1)$ ) gebildet wird.

5 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelwert für eine konstante Zahl bereits bearbeiteter Rahmen (k) gebildet wird, wobei vorzugsweise die Zuverlässigkeitswerte der zuletzt bearbeiteten Rahmen (k) verwendet werden.

10 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuverlässigkeitswerte Hilfszuverlässigkeitswerte sind, die zur Berechnung des Metrikinkrements mit einer Umrechnungsfunktion oder einer Approximationsfunktion in Zuverlässigkeitswerte umgerechnet werden.

15 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die beobachteten Zuverlässigkeitswerte die vom Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder von einem Maximum-Likelihood-Algorithmus ausgegebenen bearbeiteten Daten ( $\hat{u}_k$ ) sind.

20 19. Einrichtung (16) zum Bearbeiten von Empfangsdaten, insbesondere zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 15 bis 18,

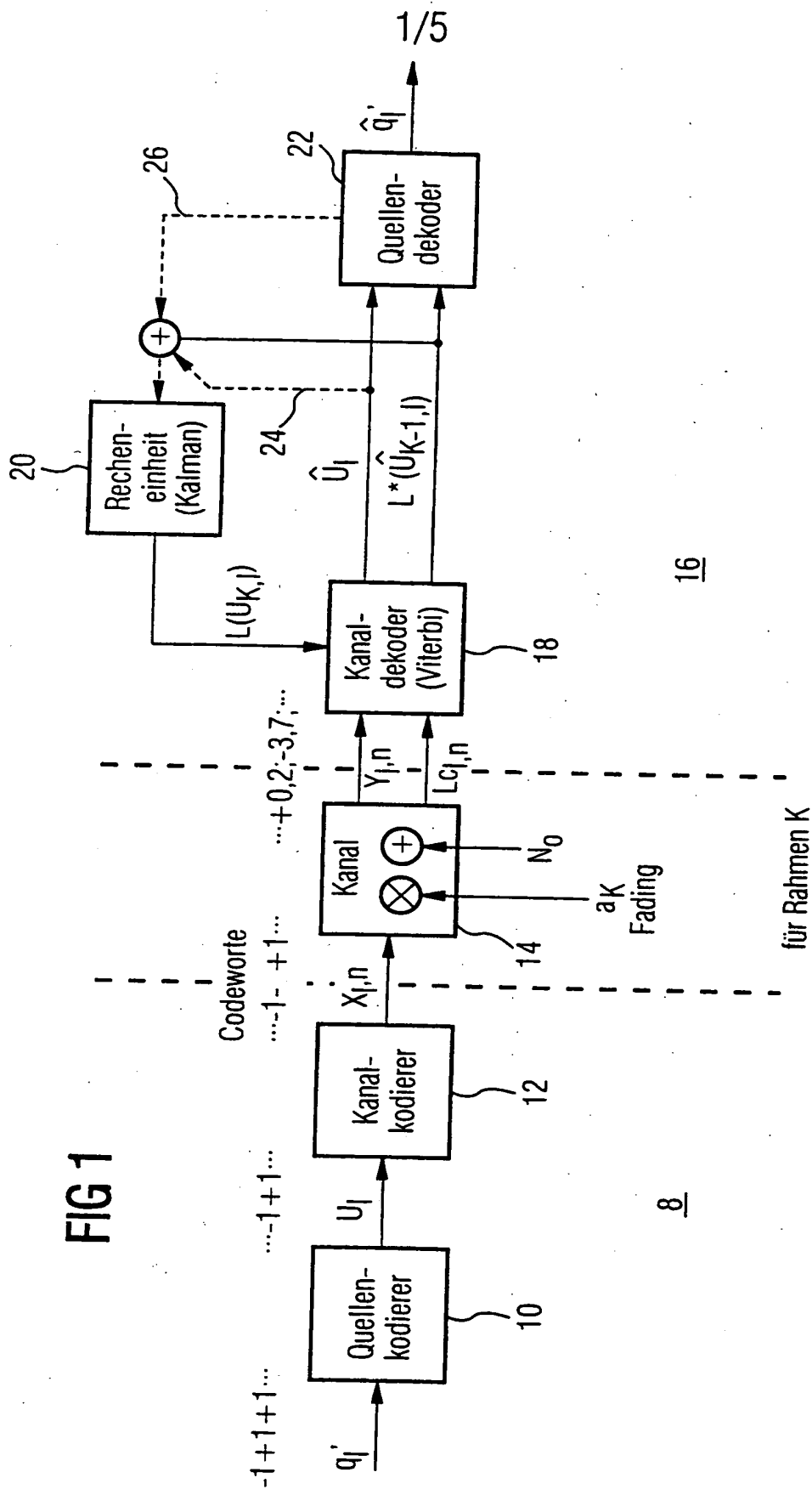
25 mit einer Empfangseinheit zum Empfangen von über eine Übertragungsstrecke (14) übertragenen Daten, die in Rahmen (k) aus einer vorgegebenen Anzahl von Bitstellen (1) übertragen werden,

30 einer Metrikinkrementeneinheit (18), welche die empfangenen Daten mit Hilfe eines Metrikinkremente verwendenden Maximum-Aposteriori-Wahrscheinlichkeitsalgorithmus oder Maximum-Likelihood-Algorithmus bearbeitet,

35 und mit einer Recheneinheit (20), die für mindestens eine Bitstelle (1), deren Wert und/oder Zuverlässigkeitswert

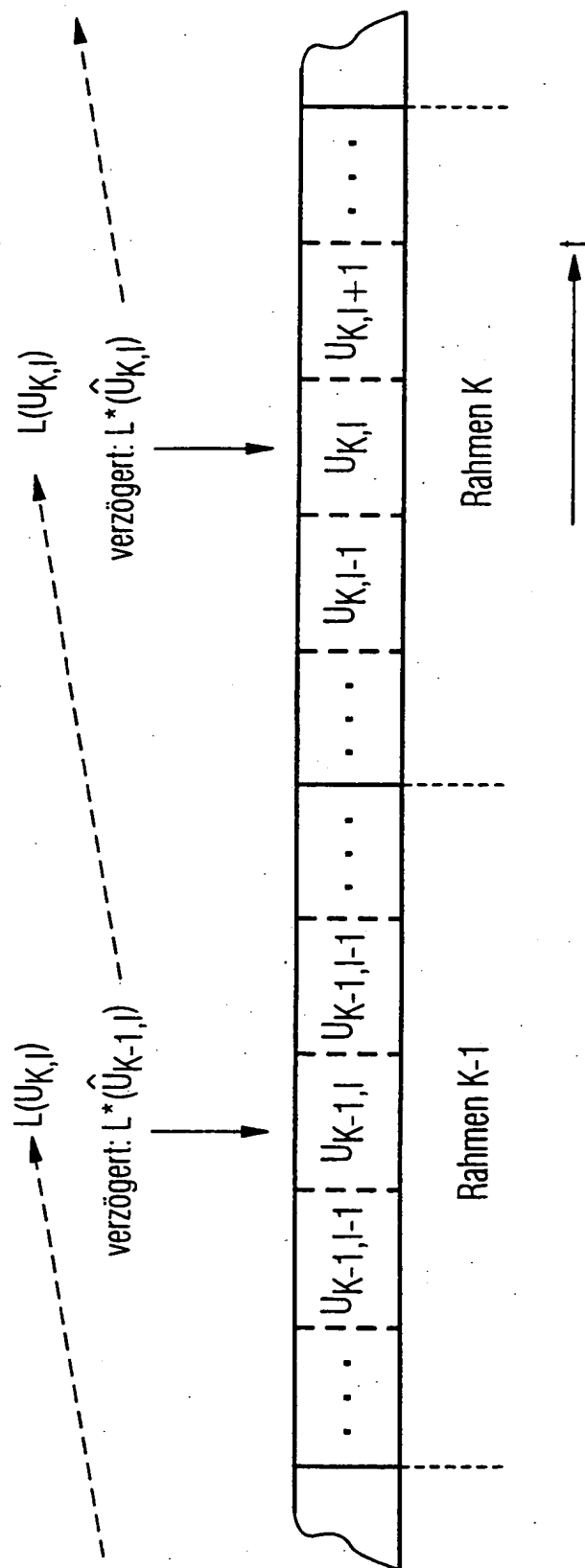
von Rahmen (k) zu Rahmen (k-1) korreliert, einen aktuellen Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) ermittelt, der an die Metrikinkrementeneinheit (18) ausgegeben wird, wobei der Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) ein Maß für die Wahrscheinlichkeit ist, daß der Wert der Bitstelle (1) einen vorgegebenen Wert hat,

dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit (20) den aktuellen Zuverlässigkeitswert ( $L(u_{k,1})$ ) durch Mittelwertbildung aus mindestens zwei beobachteten Zuverlässigkeitswerten ( $(L^*(\hat{u}_{k,1}), L^*(\hat{u}_{k-1,1}))$ ) oder aus mindestens zwei bereits ermittelten Zuverlässigkeitswerten ( $(L(u_{k-1,1}), L(u_{k-2,1}))$ ) berechnet, die aus zugehörigen Rahmen (k, k-1, k-2) für die Bitstelle (1) bestimmt wurden.



2/5

FIG 2



3/5

FIG 3

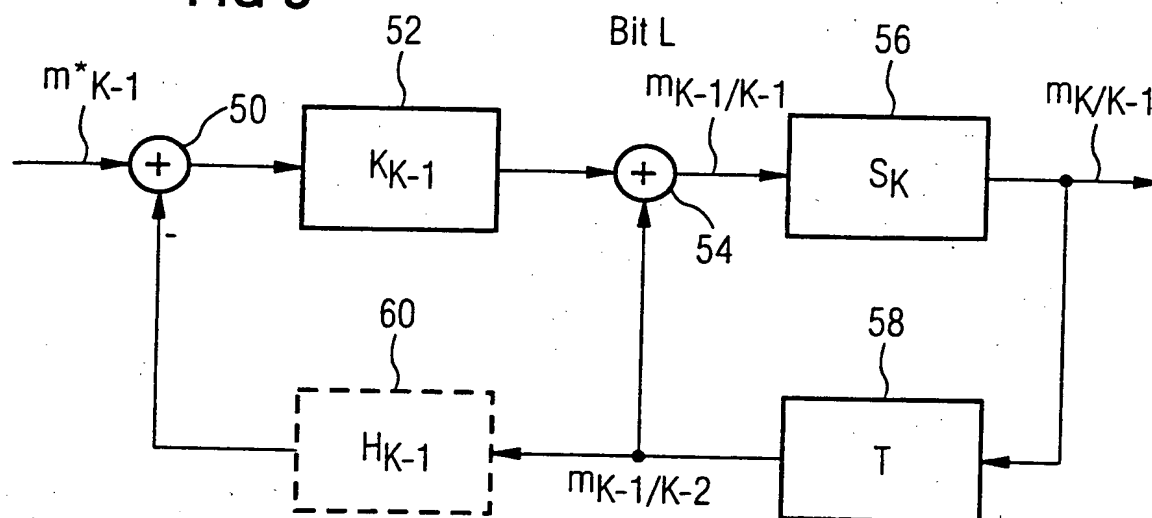
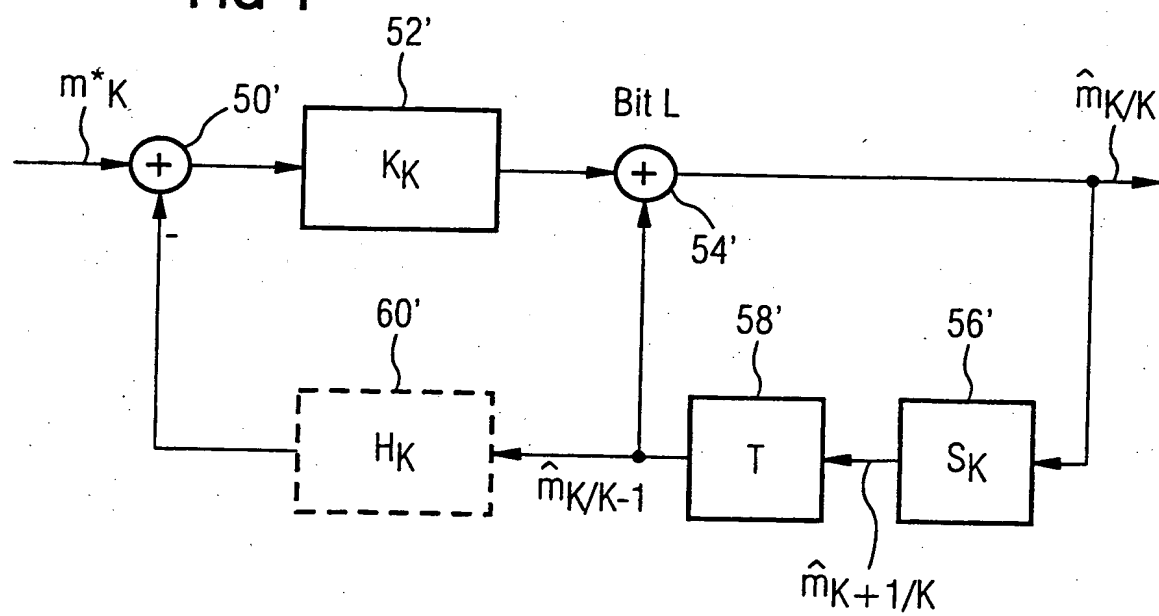
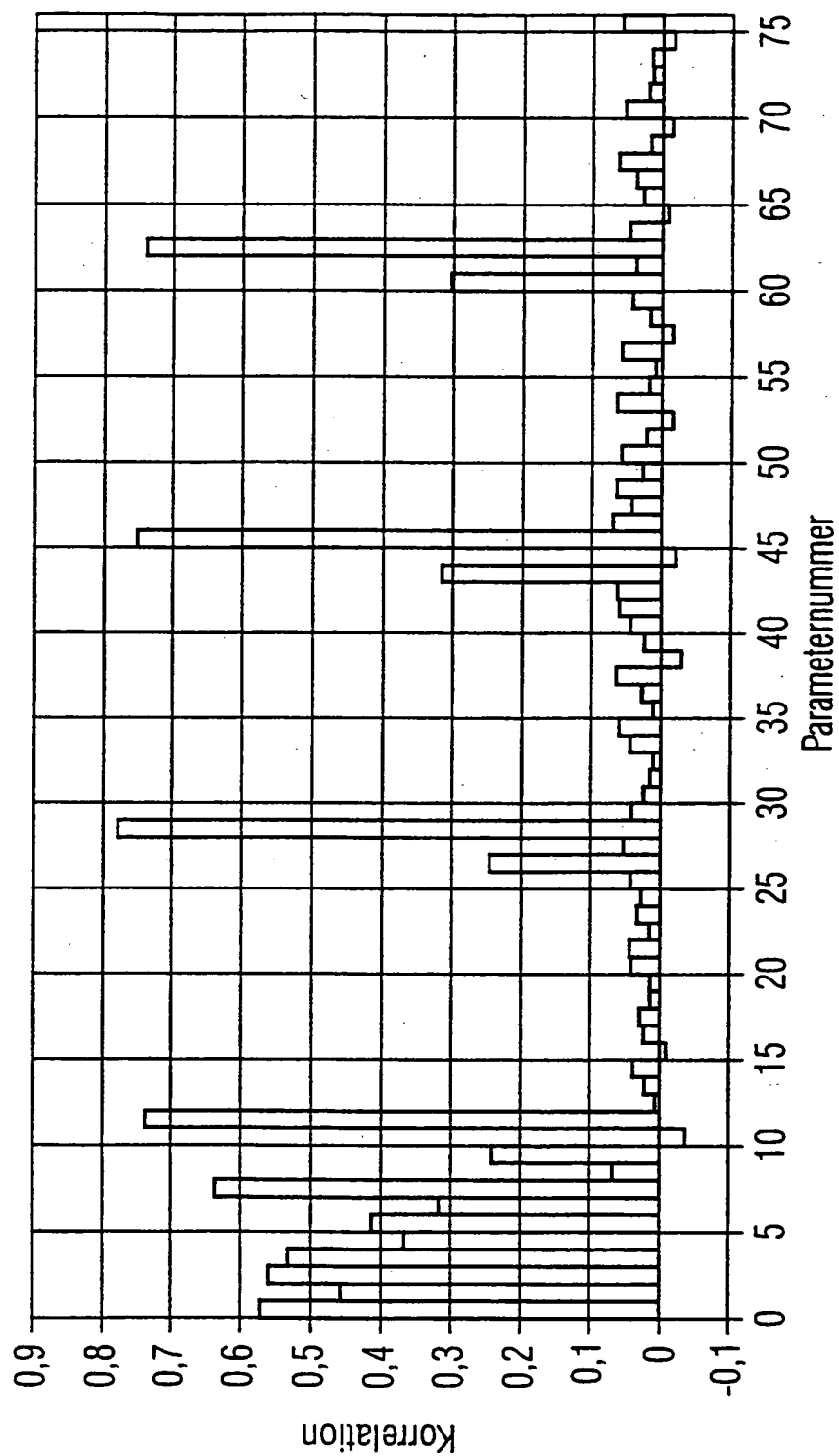


FIG 4



4/5

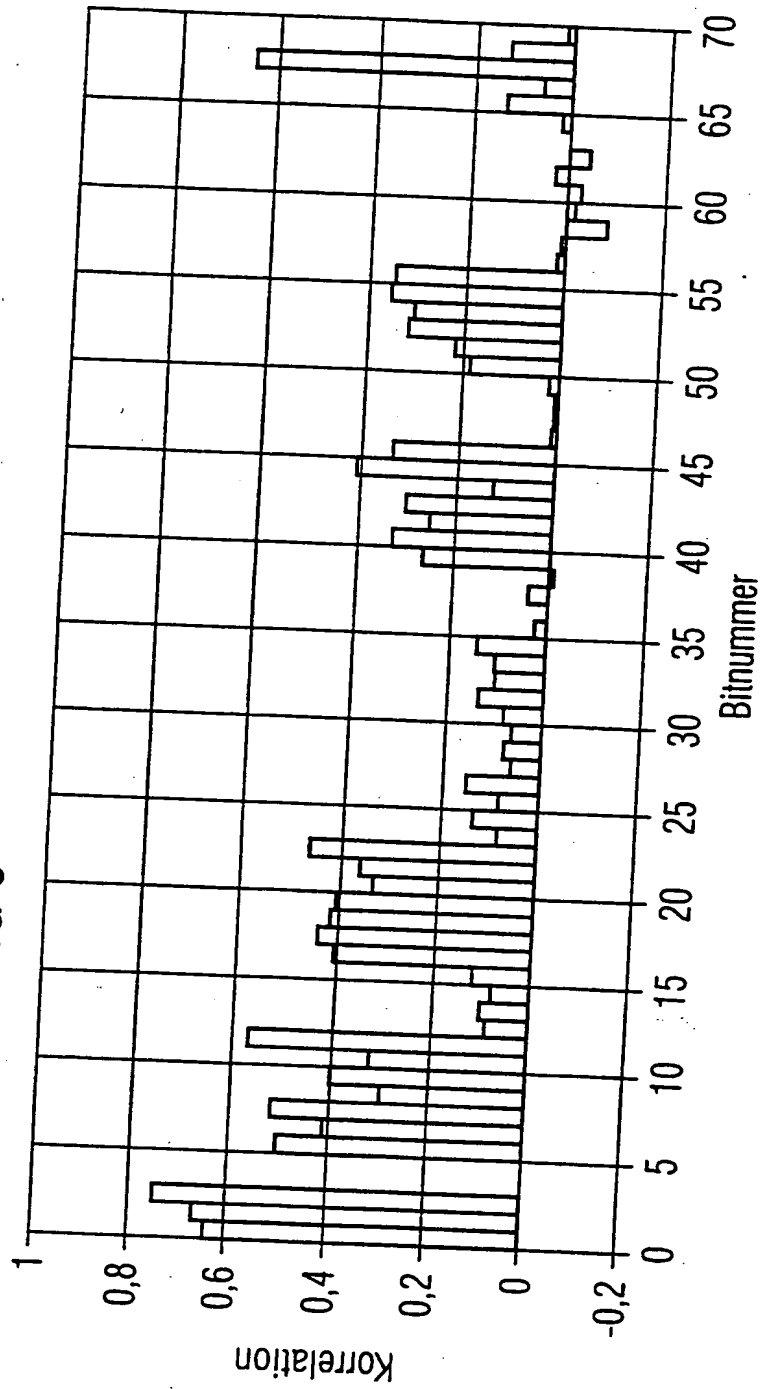
FIG 5





5/5

FIG 6



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/01524

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H03M13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H03M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HAGENAUER J: "SOURCE-CONTROLLED CHANNEL DECODING" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, vol. 43, no. 9, September 1995, pages 2449-2457, XP000525669 see abstract see page 2454, right-hand column - page 2456, right-hand column --- -/--	1-19

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 October 1998

Date of mailing of the international search report

14/10/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2

NL - 2280 HV Rijswijk

Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,

Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Farman, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte. onal Application No

PCT/DE 98/01524

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
----------	--	-----------------------

A	XU, HAGENAUER AND HOLLMANN: "JOINT SOURCE-CHANNEL DECODING USING THE RESIDUAL REDUNDANCY IN COMPRESSED IMAGES" 1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC), CONVERGING TECHNOLOGIES FOR TOMORROW'S APPLICATIONS DALLAS, JUNE 23 - 27, 1996, vol. 1, 23 June 1996, pages 142-148, XP000625657 INSTITUTE OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERS see the whole document	1-19
A	US 5 432 821 A (POLYDOROS ANDREAS ET AL) 11 July 1995 see column 10, line 54 - column 12, line 59	1-19
A	EP 0 449 327 A (NEC CORP) 2 October 1991 see column 3, line 50 - column 4, line 43; figure 5	1-19

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inte Application No

PCT/DE 98/01524

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5432821 A	11-07-1995	NONE	
EP 0449327 A	02-10-1991	JP 2591240 B	19-03-1997
		JP 3283826 A	13-12-1991
		JP 2591241 B	19-03-1997
		JP 3283827 A	13-12-1991
		CA 2039596 C	13-12-1994
		DE 69129768 D	20-08-1998
		US 5202903 A	13-04-1993

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte. nationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01524

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 H03M13/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 H03M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	HAGENAUER J: "SOURCE-CONTROLLED CHANNEL DECODING" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Bd. 43, Nr. 9, September 1995, Seiten 2449-2457, XP000525669 siehe Zusammenfassung siehe Seite 2454, rechte Spalte - Seite 2456, rechte Spalte --- -/--	1-19

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Oktober 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/10/1998

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Farman, T

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	XU, HAGENAUER AND HOLLMANN: "JOINT SOURCE-CHANNEL DECODING USING THE RESIDUAL REDUNDANCY IN COMPRESSED IMAGES" 1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC), CONVERGING TECHNOLOGIES FOR TOMORROW'S APPLICATIONS DALLAS, JUNE 23 - 27, 1996, Bd. 1, 23. Juni 1996, Seiten 142-148, XP000625657 INSTITUTE OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERS siehe das ganze Dokument ---	1-19
A	US 5 432 821 A (POLYDOROS ANDREAS ET AL) 11. Juli 1995 siehe Spalte 10, Zeile 54 - Spalte 12, Zeile 59 ---	1-19
A	EP 0 449 327 A (NEC CORP) 2. Oktober 1991 siehe Spalte 3, Zeile 50 - Spalte 4, Zeile 43; Abbildung 5 -----	1-19

# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01524

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5432821 A	11-07-1995	KEINE	
EP 0449327 A	02-10-1991	JP 2591240 B	19-03-1997
		JP 3283826 A	13-12-1991
		JP 2591241 B	19-03-1997
		JP 3283827 A	13-12-1991
		CA 2039596 C	13-12-1994
		DE 69129768 D	20-08-1998
		US 5202903 A	13-04-1993

**This Page Blank (uspto)**